

Федеральное агентство по образованию

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**

Кафедра радиотехнических систем

Ю.П. Акулиничев

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

**Многоканальная система
передачи информации**

**Методические указания
по курсовому проектированию**

2007

Корректор: Осипова Е.А.

Акулиничев Ю.П.

Теория электрической связи. Многоканальная система передачи информации: Методические указания по курсовому проектированию. — Томск: Томский межвузовский центр дистанционного образования, 2007. — 38 с.

В пособие внесены изменения в 2020 г.

© Акулиничев Ю.П., 2007

© Томский межвузовский центр
дистанционного образования, 2007

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	6
1.1 Техническое задание.....	6
1.2 Организация работы над проектом	6
1.3 Критерии оценки курсовых проектов	7
1.4 Регламент проверки курсовых проектов	7
2 СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	9
2.1 Общие требования	9
2.2 Содержание пояснительной записки	10
3 ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА	13
3.1 Требования к оформлению чертежей	13
3.2 Требования к оформлению пояснительной записки	13
4 СОДЕРЖАНИЕ ЗАДАНИЙ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ	20
4.1 Задаваемые параметры и характеристики	20
4.2 Вопросы, подлежащие разработке	20
5 РЕКОМЕНДУЕМЫЙ ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОЕКТА	22
6 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ.....	25
ЛИТЕРАТУРА	30
ПРИЛОЖЕНИЯ	32

ВВЕДЕНИЕ

Данный курсовой проект имеет принципиальное отличие от тех заданий и проектов, которые студентам приходилось выполнять ранее. Объектом проектирования является не отдельный прибор или устройство, а достаточно крупная радиотехническая система. Это вносит ряд особенностей как в сам проект, так и в методы проектирования.

Во-первых, исходя из бюджета времени, реально удастся провести лишь часть эскизного проектирования, то есть определить состав функциональных блоков СПИ, решаемые ими задачи и способ взаимодействия в соответствии с заданными принципами работы системы в целом и представить это в виде функциональной схемы СПИ.

Во-вторых, для каждого из элементов функциональной схемы удастся определить численные значения лишь тех параметров, которые нужны для того, чтобы начать детальное проектирование этого элемента на уровне разработки принципиальных схем.

В-третьих, необходимо определить численные значения ряда показателей, характеризующих СПИ в целом, таких, как производительность, помехоустойчивость, требуемые ресурсы.

Поскольку улучшение одних характеристик любой системы или ее элементов, как правило, происходит за счет ухудшения других характеристик, проектирование СПИ — это цепь компромиссов, каждый из которых требует формулировки его сути и соответствующего обоснования.

Изменение характеристик одного элемента системы приводит к необходимости изменить характеристики многих других связанных с ним элементов, далеко не всегда удастся сразу охватить все множество связей между отдельными функциональными преобразованиями сигналов. Кроме того, в процессе расчета обычно возникает ряд вопросов, на которые трудно найти готовый ответ. Например, некоторые параметры системы нужно рассчитывать, а для других параметров можно задать те же значения, которые приняты в существующих аналогичных СПИ. Трудно бывает обоснованно определить необходимый уровень подробности описания процессов, точности расчета и т. д.

Поэтому вполне вероятно, что первый вариант проекта окажется неудачным, принятые решения не были рациональными в технико-экономическом отношении, не учтены какие-то существенные факторы. Расчеты по теме проекта не являются сложными, и основные затраты времени придутся на осмысление того, в каком направлении нужно двигаться по пути улучшения характеристик системы.

Целью курсового проектирования является овладение методикой преодоления указанных трудностей, предусматривающее расширение и закрепление теоретических знаний, полученных при изучении курса «Теория электрической связи» и смежных с ним курсов, более глубокое изучение одной из разновидностей СПИ, овладение навыками в проектировании радиосистем.

Разделы 1–3 написаны совместно с В.П. Денисовым.

1 ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

1.1 Техническое задание

Курсовой проект выполняется в соответствии с техническим заданием. Техническое задание определяет:

- а) назначение проектируемой СПИ;
- б) основные тактико-технические требования, предъявляемые к проектируемой СПИ;
- в) технические ограничения, в рамках которых должна проектироваться СПИ.

1.2 Организация работы над проектом

Срок выполнения курсового проекта указан в бланке технического задания. Общий объем самостоятельной работы над заданием рассчитан на 20–30 часов (из расчета 1–2 часа в неделю).

Выполнение курсового проекта рекомендуется начинать с составления календарного плана и подбора литературы.

Ориентировочная трудоемкость отдельных этапов работы приведена в таблице.

Таблица — Относительная трудоемкость этапов работы над курсовым проектом

№	Наименование этапов	Объем (%)
1	Знакомство с литературой	10
2	Расчет электрических параметров и тактико-технических характеристик	40
3	Составление функциональной схемы	30
4	Выполнение чертежей и пояснительной записки к ним	20

В рабочей тетради выполняются все варианты расчетов, заносятся справочные данные, сведения из литературных источников. В тетради выделяются страницы для списка литературы. Используемую в расчетах статью или книгу нужно сразу же

вносить в список литературы, не откладывая до оформления пояснительной записки, когда этой книги может не оказаться под рукой.

Расчеты в черновике должны вестись аккуратно. Каждый, даже небольшой, раздел расчетов следует снабжать заголовком, формулирующим цель расчета. Под заголовком необходимо приводить исходные данные для расчета, в конце раздела — основные итоги.

Плановым сроком сдачи проекта на проверку руководителю считается срок окончания по календарному плану.

Преподавателю для проверки готовой работы требуется 3–5 дней, т. к. эта проверка, как правило, приходится на пик учебной нагрузки.

Требование «Доработать» предусматривает сдачу работы после доработки на повторную проверку. При доработке нельзя убирать листы с замечаниями. Все исправления должны производиться либо на оборотных сторонах листов пояснительной записки, либо на отдельных листах, подшитых в конце записки.

1.3 Критерии оценки курсовых проектов

При оценке качества выполнения учитываются:

- а) наличие технико-экономических обоснований выбранного решения в виде сравнительных характеристик с другими (имеющимися или возможными) вариантами;
- б) соответствие параметров разработанной СПИ требованиям технического задания;
- в) качество выполнения расчетной части;
- г) качество оформления (соответствие ГОСТам, ЕСКД);
- д) использование ЭВМ при выполнении расчетов.

1.4 Регламент проверки курсовых проектов

1. Загрузка курсового проекта в электронный курс.
2. Проверка работы преподавателем в соответствии с требованиями методических указаний.
3. Защита курсового проекта (если работа не удовлетворяет требованиям, предъявленным к ней (в том числе не является

уникальной), преподаватель может назначить ее защиту посредством проведения видеоконференцсвязи).

- Если работа принята, то оценка выставляется в систему и защита работы в формате видеоконференции не требуется.

- Если работа не принята, то будет проводиться защита курсового проекта в формате видеоконференции. Защитить свой проект также могут студенты, не согласные с выставленной оценкой.

Форма защиты: преподаватель задает вопросы по материалам курсового проекта (решения, обоснование применения формул, теоретическая база работы и т. д.). На одну защиту отводится не более 10–15 минут.

Дата и время защиты: указаны в электронном курсе.

Место защиты: вебинарная комната в электронном курсе дисциплины.

2 СОДЕРЖАНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

2.1 Общие требования

Курсовой проект должен содержать:

- а) чертежи;
- б) расчетно-пояснительную записку к ним.

Перечень необходимых чертежей указывается руководителем в техническом задании. Он обязательно должен включать в себя электрическую функциональную схему разработанной СПИ (Э2 по ГОСТ 2.701–84). Другие чертежи (принципиальные электрические схемы отдельных устройств или узлов) включаются в задание по усмотрению руководителя.

Чертеж электрической функциональной схемы должен давать ясное представление о разрабатываемой системе в целом, о принципе ее работы, назначении блоков и устройств и функциональных связях между ними. Функциональная схема должна быть настолько подробной, чтобы были ясны физические принципы и техническая возможность ее осуществления на современном уровне развития радиоэлектроники.

Пояснительная записка (ПЗ) должна содержать в указанной ниже последовательности:

- 1) титульный лист;
- 2) реферат;
- 3) задание на проектирование;
- 4) содержание;
- 5) введение;
- 6) анализ технического задания и выбор метода выполнения его требований;
- 7) расчет технических параметров проектируемой СПИ;
- 8) составление электрической функциональной схемы и расчет технических требований к ее элементам;
- 9) разработку аппаратной или программной реализации кодера и декодера;
- 10) заключение;
- 11) список использованной литературы.

2.2 Содержание пояснительной записки

Реферат — краткая характеристика проекта с точки зрения его содержания и особенностей. Реферат помещают на отдельной странице. Заголовком служит слово «Реферат», расположенное симметрично тексту. Заголовок выполняется прописными буквами.

Реферат выполняется по ОС ТУСУР 01–2013 «Работы студенческие по направлениям подготовки и специальностям технического профиля. Общие требования и правила оформления» (<https://regulations.tusur.ru/documents/70>) и должен содержать:

- сведения о количестве листов ПЗ, количестве чертежей, иллюстраций, таблиц, использованных источников, приложений;
- перечень ключевых слов;
- текст реферата.

Перечень ключевых слов должен состоять из 5–10 слов или словосочетаний из ПЗ, которые в наибольшей мере характеризуют ее содержание. Ключевые слова пишутся в именительном падеже прописными буквами.

Текст реферата должен содержать:

- цель работы;
- полученные результаты и их новизну;
- основные особенности спроектированной системы;
- область применения проекта;
- прогнозные предложения о развитии объекта исследования.

Изложение материала в реферате должно быть кратким и четким. Фамилии, названия учреждений, организаций, фирм и другие иностранные собственные имена в тексте приводят на языке оригинала. Допускается приводить собственные имена в русской транскрипции с добавлением в скобках оригинального названия (при первом упоминании).

Задание на проектирование — составляется руководителем и утверждается заведующим кафедрой.

Анализ технического задания и выбор метода выполнения его требований.

Если принцип построения СПИ не следует из задания, его следует определить, исходя из назначения СПИ и предъявляемых к ней тактико-технических требований, оговоренных

заданием. При наличии нескольких вариантов выбирается наилучший.

Если метод или принцип определен заданием, необходимо указать его место среди других возможных.

Для дальнейшей работы над заданием рекомендуется составить укрупненную электрическую структурную схему проектируемой СПИ (Э1 по ГОСТ 2.701–84), дающую ее информационную структуру с отображением основных функциональных блоков (приемник, передатчик, индикатор и т. д.) и взаимосвязей между ними. Использование этой схемы позволит определить содержание и объем последующей работы.

Расчет технических параметров проектируемой СПИ.

На основании требований технического задания и в соответствии с заданным (или выбранным) принципом действия рассчитываются основные технические характеристики СПИ. К ним, в частности, относятся: длительность кодового слова, кадра, ширина спектра группового сигнала, параметры модуляции в первой и последующих ступенях уплотнения, вероятность правильного декодирования кодового слова.

Другие параметры СПИ, подлежащие расчету, оговариваются в техническом задании или определяются студентом, исходя из назначения и принципа действия системы.

Если нестабильность рассчитываемых параметров существенно влияет на качественные показатели проектируемых СПИ, следует оценить ее допустимые значения.

Выбранные на основании расчета технические характеристики СПИ должны обеспечивать выполнение тактических требований, предусмотренных заданием на проектирование. Если в результате расчетов становится очевидным, что выполнение совокупности заданных тактических требований невозможно на современном уровне развития техники, это должно быть убедительно показано студентом в пояснительной записке. В этом случае студент должен предложить и согласовать с руководителем вариант выполняемых требований, исходя из назначения системы и технических возможностей.

Составление электрической функциональной схемы, описание ее работы, расчет основных технических требований к ее элементам.

В данном разделе обосновывается предлагаемый исполнителем вариант функциональной схемы, показывается его работоспособность и возможность технического выполнения.

В разделе должно быть дано описание работы всей системы, приведены временные графики работы основных элементов, дано распределение используемой полосы частот между частотными каналами, при необходимости приведены эпюры напряжений в характерных точках функциональной схемы.

Следует рассчитать основные технические требования, предъявляемые к элементам функциональной схемы, и показать путем ссылок на соответствующую литературу возможность их технического выполнения. Должна быть составлена сводная таблица технических требований к элементам функциональной схемы.

Разработка аппаратной или программной реализации кодера и декодера (по выбору студента).

Для аппаратной реализации кодера и декодера заданного корректирующего кода необходима разработка их детальных функциональных схем с указанием всех логических элементов и связей между ними.

Программы кодирования и декодирования для персонального компьютера могут быть составлены с использованием любого из языков программирования. Необходимо привести листинг программы и численный пример, подтверждающий ее работоспособность.

Заключение.

В этом разделе исполнитель подводит итоги проделанной работы, отмечает соответствие спроектированной СПИ техническому заданию, положительные стороны и недостатки принятых технических решений, намечает пути улучшения тактико-технических параметров системы.

В заключении формулируются общие выводы, касающиеся полезности проделанной работы, в частности отмечается целесообразность использования ее результатов в реальном проектировании.

3 ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

3.1 Требования к оформлению чертежей

Чертежи должны быть выполнены в карандаше на листах ватмана стандартного размера или на компьютере в соответствии с ЕСКД. Правила выполнения электрических схем установлены ГОСТ 2.702–75 и ГОСТ 2.701–84.

Допускается помещение чертежей в конце пояснительной записки с соответствующей укладкой их.

Каждый чертеж должен иметь рамку и основную надпись в соответствии с ГОСТ 2.104–68 «Виды и комплектность конструкторской документации», форма 1. Форма основной надписи, а также пример заполнения граф основной надписи даны в приложении 2.

Другие сведения, которые могут оказаться необходимыми для выполнения графической части проектов, приведены в ОС ТУСУР 01–2013 «Работы студенческие по направлениям подготовки и специальностям технического профиля. Общие требования и правила оформления» (<https://regulations.tusur.ru/documents/70>).

3.2 Требования к оформлению пояснительной записки

Пояснительная записка к проекту (ПЗ) должна быть выполнена на стандартных листах формата А4 (210х297) ГОСТ 2.301–68 одним из следующих способов:

- с применением печатающих устройств вывода ЭВМ, высота букв и цифр не менее 1,8 мм, через 1,5–2 межстрочных интервала;
- рукописным — четким, разборчивым почерком с высотой букв и цифр не менее 2,5 мм. Текст должен быть написан чернилами или пастой синего или черного цвета.

В соответствии с ГОСТ 2.004–88 «Общие требования к выполнению конструкторских и технологических документов на печатающих и графических устройствах вывода ЭВМ»,

должны соблюдаться требования соответствующих стандартов ЕСКД.

ПЗ является текстовым конструкторским документом. Поэтому ее построение и оформление должны соответствовать ГОСТ 2.105–95, раздел 2 «Требования к текстовым документам, содержащим в основном сплошной текст». Согласно этим требованиям каждый лист текстового конструкторского документа обрамляется рамкой и снабжается основной подписью по форме 2 и 2а ГОСТ 2.104–68.

Допускается выполнять по формам 2 и 2а только 2–3 первых листа ПЗ.

Расстояние от рамки формы (или от того места, где она должна быть) до границ текста следует оставлять в начале строк — не менее 5 мм, в конце строк — не менее 3 мм. Расстояние от верхней или нижней строки текста до рамки формы должно быть не менее 10 мм.

Нумерация страниц ПЗ должна быть сквозной, включая листы с рисунками; первой страницей является титульный лист. Номера страниц должны проставляться в основной надписи в графе «Лист». На титульном листе и в задании номер страницы не проставляется. На листах без рамки номер проставляется в правом верхнем углу. Титульный лист оформляется согласно ГОСТ 2.105–95. Форма титульного листа приведена в приложении 4.

Текст должен быть написан простым языком, чтобы его мог понять специалист не только в данной области, но и в смежной.

Не следует применять в тексте неконкретные выражения типа «удовлетворительное совпадение», «хорошее соответствие», «достаточная точность» и т. д., а также употреблять сложные обороты речи, жаргонные выражения, профессионализмы.

Не допускается:

- применять для одного и того же понятия различные научно-технические термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
- применять произвольные словообразования;

– применять индексы стандартов (ГОСТ, ОСТ и т. п.), технических условий (ТУ) и других документов без регистрационного номера.

Содержание пояснительной записки разбивают на разделы и подразделы. При необходимости разделы и подразделы разбивают на пункты, а пункты на подпункты. Каждый пункт записывают с абзаца.

Между заголовками разделов и подразделов и последующим текстом следует оставлять одну свободную строку, а между последней строкой текста и последующим заголовком — две свободные строки.

Разделы должны иметь порядковые номера, обозначенные арабской цифрой. Номера подразделов состоят из номера раздела и подраздела, разделенных точкой. Номера пунктов состоят из номеров раздела, подраздела и пункта, разделенных точками.

Содержащиеся в подпунктах отдельные требования, указания или положения, излагаемые в виде перечисления, записывают с абзаца. Подпункты обозначаются в пределах пункта арабскими цифрами со скобкой. Каждый подпункт должен начинаться с новой строки со строчной буквы. В конце подпункта, если за ним следует еще подпункт, ставят точку с запятой.

Каждый раздел рекомендуется начинать с новой страницы. Наименования разделов и подразделов должны быть краткими и соответствовать содержанию. Заголовки подразделов записываются строчными буквами (кроме первой прописной). Точку в конце заголовка не ставят. Если заголовок состоит из двух предложений, их разделяют точкой. Переносы слов в заголовках не допускаются.

При аналитических расчетах рекомендуется следующий порядок записи: приводится формула, после знака равенства подставляются численные значения в основных единицах системы СИ и пишется результат с указанием единиц измерения по ГОСТ 8.417–81, например: В, мВ, мкВ, А, мА, мкА, Ом, кОм, МОм, Ф, мкФ, Гц, кГц, МГц, м, см, км, дБ, Вт, с, мс, мкс, нс.

Числовые значения величин в тексте должны указываться с необходимой степенью точности. В тексте ПЗ числа с размерностью следует писать цифрами, цифры до десяти без размерности —

словами, свыше десяти — цифрами, например: Дальность действия увеличилась в два раза.

Значения символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, должны быть приведены непосредственно под формулой. Значение каждого символа дают с новой строки в той последовательности, в какой они приведены в формуле. Первая строка расшифровки должна начинаться со слова «где» без двоеточия после него.

Формулы, на которые имеются ссылки в тексте, должны нумероваться в пределах раздела арабскими цифрами. Номер формулы должен состоять из номера раздела и порядкового номера формулы, разделенных точкой, например: (1.2). Номер указывают с правой стороны листа на уровне формулы в круглых скобках, например:

$$A = 0,5x - 8. \quad (3.222)$$

Ссылки в тексте на номер формулы дают в скобках, например: «... в формуле (3.1)».

Цифровой материал, как правило, оформляют в виде таблиц. Таблица должна иметь заголовок, который следует выполнять строчными буквами, кроме первой прописной, и помещать над таблицей посередине. Заголовок должен быть кратким и полностью отражать содержание таблицы.

Заголовки граф таблицы начинают с прописных букв, а подзаголовки со строчных, если они составляют одно предложение с заголовком. Подзаголовки, имеющие самостоятельное значение, пишут с прописной буквы. В конце заголовков и подзаголовков таблиц знаки препинания не ставят. Заголовки указывают в единственном числе. Графу «№ п/п» в таблицу не включают. При необходимости нумерации параметров порядковые номера указывают в боковике таблицы перед их наименованием.

Диагональное деление головки таблицы не допускается. Высота строк таблицы должна быть не менее 8 мм.

Все таблицы, если их в ПЗ более одной, нумеруют в пределах раздела арабскими цифрами. Номер таблицы состоит из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенных точкой.

Над левым верхним углом таблицы помещают надпись «Таблица» с указанием номера таблицы, например: «Таблица 2.1»

(первая таблица второго раздела). Надпись «Таблица» пишут выше заголовка.

Если в ПЗ одна таблица, то номер ей не присваивается и слово «Таблица» не пишут. На все таблицы должны быть ссылки в тексте, при этом слово «Таблица» в тексте пишут полностью, если таблица не имеет номера, и сокращенно — если имеет номер, например: «... в табл. 1.1.».

Для пояснения излагаемого текста в ПЗ помещают иллюстрации. Иллюстрации должны размещаться сразу после ссылки на них в тексте. Иллюстрации следует размещать так, чтобы их можно было рассматривать без поворота ПЗ. Если такое расположение невозможно, иллюстрации располагают так, чтобы для их рассматривания надо было повернуть ПЗ по часовой стрелке.

Иллюстрации должны быть выполнены в соответствии с требованиями стандартов ЕСКД.

Все иллюстрации (фотографии, схемы, чертежи и пр.) именуются рисунками. Рисунки следует выполнять на той же бумаге, что и текст. Рисунки нумеруются последовательно в пределах раздела арабскими цифрами. Номер рисунка должен состоять из номера раздела и порядкового номера рисунка, разделенных точкой, например: «Рисунок 1.2» (второй рисунок первого раздела). При ссылке на рисунок следует указывать его полный номер, например: «(рисунок 1.2)». Повторные ссылки на рисунок следует давать с сокращенным словом «смотри», например: «(см. рис. 1.2)».

Иллюстрации должны иметь наименование и при необходимости — поясняющие данные. Слово «рисунок», его номер и наименование помещают ниже изображения и пояснительных данных симметрично иллюстрации. Например, «Рисунок 1.2 — Графическое изображение алгоритма».

Иллюстрации, на которых изображаются графики, выполняются различно в зависимости от того, отображают ли они лишь качественный характер или же количественное соотношение между аргументом и функцией.

Первый вид графиков изображается на плоскости, ограниченной осями координат, заканчивающимися стрелками. При этом слева от стрелки оси ординат и под стрелкой оси абсцисс

проставляется буквенное обозначение соответственно функции и аргумента, без указания их единиц измерений.

Вдоль осей допускается указывать условные координаты некоторых характерных точек.

Графики, по которым можно установить количественную связь между независимой и зависимой переменными, должны снабжаться координатной сеткой, логарифмической или равномерной. Буквенные обозначения переменных проставляются вверху слева от левой границы координатного поля и справа под нижней границей поля.

Единицы измерения (размерности) проставляются в одной строке с буквенными обозначениями переменных и отделяются от них запятой.

Численные значения аргумента и функции вписываются против линий координатной сетки соответственно в одну строку с буквенным обозначением под нижней границей координатного поля и в один столбец с буквенным обозначением слева от левой границы координатного поля. Следует избегать чрезмерно мелкой координатной сетки, причем допускается в целях лучшего чтения графика промежуточные числовые значения проставлять через одну или две клетки. Поле, образованное координатной сеткой, следует использовать рационально так, чтобы не оставались пустые строки и столбцы клеток.

Если на одном графике необходимо разместить семейство кривых, то их следует изображать либо различными линиями (например, сплошной, пунктирной, штрихпунктирной), либо проставлять около них на свободных местах цифры или буквы, которые должны быть разъяснены в поясняющих данных к рисунку или в тексте, либо делать возле них краткие поясняющие подписи, не затрудняющие чтение графика.

Если на одном графике необходимо разместить две различные функциональные зависимости, то обозначение и размерность одной из них следует помещать вдоль левой границы координатного поля, а другой вдоль правой границы координатного поля. При этом на поле графика возле кривых должны быть приведены соответствующие буквенные обозначения.

Если графики иллюстрируют экспериментальные зависимости, полученные в результате однократного проведения прямых

или косвенных измерений, то обязательно проставление координат экспериментальных точек. Координаты могут быть указаны различными символами (значками), например # и т. п. Расшифровка символов приводится в подрисуночной надписи или в тексте.

При ссылке в тексте на использованную литературу следует приводить порядковый номер по списку литературы, заключенный в квадратные скобки и, в необходимых случаях, страницы, например: [18, с. 75].

Список литературы оформляют следующим образом. Заголовок «Список литературы» располагают симметрично тексту, прописными буквами. В список литературы входят все те литературные источники, на которые имеются ссылки в ПЗ. Список литературы выполняют в соответствии с ГОСТ 7.1–84 «Система информационно-библиографической документации. Библиографическое описание произведений печати». Примером может служить список рекомендуемой литературы к типовым проектам, помещенный в настоящих методических указаниях.

4 СОДЕРЖАНИЕ ЗАДАНИЙ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

4.1 Задаваемые параметры и характеристики

Многоканальная когерентная СПИ предназначена для передачи цифровых сигналов от M однотипных источников информации по одному или нескольким арендуемым стандартным аналоговым каналам и характеризуется следующими параметрами:

- 1) число каналов M ;
- 2) длина двоичной кодовой комбинации (слова) на входе канала K_c , бит;
- 3) средняя скорость на входе канала V_c , слов/с;
- 4) тип корректирующего кода;
- 5) тип манипуляции;
- 6) способ уплотнения каналов;
- 7) суммарная средняя мощность сигналов на входе приемника в прямом канале P , Вт;
- 8) спектральная плотность мощности аддитивного белого шума на входах приемников прямого и обратного каналов N_0 , Вт/Гц;
- 9) суммарная средняя мощность сигналов на входе приемника в каналах переспроса $P_{обр}$, Вт.

Численные значения параметров, тип корректирующего кода, тип манипуляции и способ уплотнения каналов даны в Приложении 1.

Номер варианта N студенты выбирают по формуле:

$$N = (50 \cdot P) \text{div} 100,$$

где P — код варианта,

$\text{div} 100$ — целочисленное деление на 100.

4.2 Вопросы, подлежащие разработке

- 1) Выбор численных значений параметров корректирующего кода, при которых обеспечивается минимальная битовая вероятность ошибки на выходе декодера;

2) разработка детальной функциональной схемы кодера и декодера заданного корректирующего кода либо составление программы кодирования и декодирования для персонального компьютера (по выбору студента);

3) вычисление вероятности ошибки при приеме кодового слова и битовой вероятности ошибки на выходе декодера;

4) оценка частоты появления ошибок и заключение о ее соответствии назначению системы;

4) выбор способов введения и численных значений параметров синхросигналов;

5) выбор методов селекции синхросигналов в приемном устройстве;

6) выбор численных значений параметров модуляции в первой и, в случае необходимости, последующих ступенях уплотнения;

7) расчет значений всех временных интервалов, определяющих структуру цифровых канальных и (при временном уплотнении каналов) группового сигналов;

8) расчет полос частот, необходимых для передачи каждого из канальных сигналов с учетом полосы обратного канала, полосы группового сигнала и сигнала (сигналов) на выходе системы;

9) разработка способа сопряжения системы с аналоговой аппаратурой частотного уплотнения телефонных каналов для передачи групповых сигналов по одному или нескольким арендуемым стандартным трактам;

10) разработка функциональной схемы системы в целом для передачи в одном направлении.

5 РЕКОМЕНДУЕМЫЙ ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ПРОЕКТА

1. Предположить, каково назначение СПИ, т. е. определить физический смысл передаваемых параметров, исходя из заданных значений длины слова и скорости передачи.

2. Определить скорость ввода информационных символов в одном канале $V_{\text{вх}}$.

3. Выбрать такие значения n и k из числа допустимых для заданного кода, которые наиболее удобны для передачи кодовых слов, выдаваемых источниками, при этом k информационных позиций в кодовой комбинации можно заполнять произвольным образом (размещая несколько слов от одного источника или от разных источников, разбивая слова на части и размещая их в разных комбинациях и т. п.), но при этом следует передавать и специальные синхросигналы, помогающие в пункте приема проводить сборку кодовых слов и их разделение по каналам. Возможно использование укороченного кода.

4. Определить, какие виды синхронизации (тактовая, канальная, кадровая и др.) необходимо обеспечить. Определить, какие специальные синхросигналы необходимо передавать в пункт приема по линии связи, выбрать способ введения и численные значения параметров этих синхросигналов.

5. Учитывая заданный способ манипуляции и наличие синхросигналов, определить длительность радиоимпульса на входе приемника.

6. Учитывая степень когерентности системы, определить вероятность ошибки при демодуляции принимаемого радиоимпульса и битовую вероятность ошибки на входе декодера $p_{\text{вх}}$.

7. Определить длительность радиоимпульса в канале переспроса, имея в виду, что в ответ на каждую кодовую комбинацию, переданную в прямом канале, в канале переспроса передается один бит (подтверждение правильного приема либо требование на повторную передачу этой же комбинации).

8. Учитывая степень когерентности системы, определить битовую вероятность ошибки при демодуляции принимаемого радиоимпульса в канале переспроса.

9. Исходя из кодового расстояния $d_{\text{код}}$ и битовой вероятности ошибки на входе декодера $p_{\text{вх}}$, определить вероятность ошибочного декодирования (n,k) -комбинации $p_{\text{ош}}$, при этом иметь в виду, что декодер должен лишь обнаруживать ошибки, а в канале переспроса также возможно появление ошибок. Оценить битовую вероятность ошибки на выходе декодера $p_{\text{вых}}$.

10. Определить вероятность того, что кодовая комбинация будет передана повторно. Оценить требуемое относительное увеличение скорости передачи в прямом и обратном каналах, обусловленное этим фактором, и учитывать его при проведении повторных расчетов.

11. Вычисления пп. 3–10 повторить 2–3 раза с целью подбора наилучших характеристик кода, обеспечивающих минимальную битовую вероятность ошибки на выходе декодера.

12. Определить избыточность кода $R=r/n$, а также среднее время безошибочной работы в одном канале $T=1/(V_{\text{вх}} p_{\text{вых}})$, где $V_{\text{вх}}$ — средняя скорость на входе телеметрического канала, бит/с. В случае, если помехоустойчивость системы чрезмерно велика, оценить, возможно ли сокращение избыточности и, следовательно, требуемой для передачи полосы частот за счет увеличения n и k так, чтобы величина T оставалась приемлемой для систем данного назначения.

13. (частотное уплотнение каналов). Найти ширину спектра для каждого из канальных сигналов после модулятора первой ступени, задать величины защитных частотных интервалов (методом аналогии с существующей, например стандартной аппаратурой), определить ширину спектра группового сигнала (временное уплотнение каналов). Найти требуемые длительности символов, слов и кадров, а также длительности синхроимпульсов в групповом сигнале, рассчитать ширину спектра группового сигнала на выходе.

14. Задать способ сопряжения системы со стандартной аппаратурой частотного уплотнения каналов тональной частоты, а именно: выбрать групповой тракт стандартной аппаратуры (первичный, вторичный и т.п.) и задать частоту несущей, необходимой для передачи группового сигнала с АМ ОБП по выбранному тракту, определить граничные частоты и ширину спектра группового сигнала и убедиться в том, что этот сигнал

может быть передан по выбранному тракту; учесть, что для прямого канала и канала переспроса должны выделяться непрерывающиеся полосы частот; возможна также аренда нескольких трактов одного или разных уровней для одновременного обслуживания разных групп каналов, чтобы рациональнее использовать выделяемые полосы частот.

15. На основе анализа найденных производящей и (или) проверочной матриц (полиномов для циклического кода) составить детальные функциональные схемы кодера и декодера корректирующего кода или составить программу кодирования и декодирования для персонального компьютера.

16. Выбрать и описать способы селекции синхросигналов в приемной части установки.

17. Составить функциональную схему передающей и приемной установок системы.

6 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Определяя предполагаемое назначение СПИ, нужно учитывать скорость передачи в одном канале и количество двоичных разрядов в кодовой комбинации на выходе источника. Возможно, кодовая комбинация представляет один отсчет непрерывного процесса. Например, скорость в 2 слова (отсчета) в секунду приемлема для передачи значений направления и скорости ветра при метеорологических наблюдениях, скорости движения конвейера, количества сделок на электронных торгах и т.п.; более высокая скорость в 100 слов в секунду слишком высока для перечисленных примеров, но вполне подходит для случая радиолокационного измерения расстояния до летящей ракеты либо для описания хода быстропротекающей химической реакции.

Количество разрядов в кодовой комбинации k определяет относительную величину модуля максимальной ошибки $u_{ош} = 0,5^{k+1}$. Например, при $k = 16$ имеем $u_{ош} = 0,00076 \%$, что явно излишне при передаче данных о направлении и скорости ветра, но более подходит для передачи значений координат движущегося объекта.

Допустимые значения n , k и r для заданного кода определяются в соответствии с формулами (3.8, 3.26, 3.30, 3.31) и Приложением 1 из [1, часть 1]. Не следует без особой необходимости использовать укороченный код [1, часть 1, стр.69].

Задав численные значения параметров кода, следует приступить к составлению детальных временных диаграмм для канальных и группового сигналов. На этих диаграммах должны быть указаны расположение на временной оси и длительности всех элементов сигналов (циклов, канальных интервалов, кодовых комбинаций, битов, передаваемых импульсов, кодовых комбинаций от источников информации и т. д.) и количество бит в каждой группе.

Хорошо, если в СПИ с ВРК в кадре размещается целое число всех остальных перечисленных элементов. Тогда можно передавать лишь кадровый (цикловый) синхросигнал и предусмотреть для него еще один, дополнительный канал. В СПИ с ЧРК самым крупным элементом в каждом канале, скорее

всего, окажется комбинация на выходе кодера, и точно так же нужно стремиться к тому, чтобы в ней помещалось целое число слов с выхода источника информации.

Тогда в конце этой кодовой комбинации следует добавить синхросигнал (один или несколько двоичных символов), причем эта синхрогруппа всегда одна и та же.

Если на k информационных позициях не удастся разместить целое количество слов от источника, придется в конце каждого слова перед кодированием добавить еще одну, другую синхрогруппу (как правило, здесь достаточно одного бита, который всегда принимает одно и то же значение, например единицы).

После того, как определены параметры всех синхросигналов, можно найти значение необходимых битовой скорости передачи (бит/с) в одном канале V_1 и суммарной битовой скорости передачи V . Длительность импульсов τ , передаваемых в одном канале в системе с ЧРК или в групповом сигнале в системе с ВРК, определяется по формулам $\tau_1 = m/V_1$ или $\tau = m/V$ соответственно, где m — количество бит, передаваемых в одном импульсе [1, разд. 2.8].

В итоге можно определить отношение сигнал/шум по энергии на входе приемника системы с ВРК $q^2 = P\tau/N_o$. Для системы с ЧРК величину q^2 вычисляют аналогично, но нужно учесть, что мощность P делится между M одновременно принимаемыми сигналами.

Вероятность ошибки при демодуляции принимаемого импульса p_n зависит от отношения сигнал/шум q , метода манипуляции и степени когерентности СПИ.

Вероятность ошибки при демодуляции двоичного импульса в приемнике когерентной СПИ равна [1, (5.13)]

$$p_2 = 1 - \Phi(z), \quad (1)$$

где $\Phi(z)$ — интеграл вероятности,

$z = q$ в случае использования ФМ и $z = q/\sqrt{2}$ для АМ и ЧМ с ортогональными сигналами [1, (2.25)].

Значения $\Phi(z)$ для $|z| < 3$ приведены в Приложении 2, а также в большинстве учебников по теории вероятности либо вычисляются

во многих прикладных математических пакетах программ (Mathcad, Excel и др.).

При использовании M -позиционных методов манипуляции, где $M = 2^m$ [1, разд. 2.8], вероятность ошибки определяется приближенными соотношениями [1, (5.16), (5.17)] с использованием данных таблицы [1, табл. 5.1].

Если при демодуляции импульса возникла ошибка, то есть демодулятор вместо правильного (действительно переданного) значения M -ичного сигнала выдал какое-то другое из остальных $M-1$ его возможных значений, то при большом отношении сигнал/шум ($q > 3 \dots 4$) очень велика вероятность, что этим другим значением окажется ближайший сосед [1, рис. 2.15 и 2.16]. Поэтому количество ошибочных бит $m_{\text{ош}}$ из их общего числа k зависит от способа нумерации M возможных значений импульса [1, разд. 5.2]. Для двукратной ФМ и КАМ-4 эту нумерацию можно провести так, что номера ближайших соседей будут отличаться не более чем в одном двоичном разряде, то есть $m_{\text{ош}} = 1$. Для КАМ более высокого порядка при надлежащей нумерации число ошибочных бит не более двух. Если нумерация сделана по возрастанию номеров либо в произвольном (случайном порядке), то $m_{\text{ош}} \approx m/2$. В итоге битовая вероятность ошибки на выходе демодулятора (на входе декодера) равна

$$p_{\text{вх}} \approx p_M m_{\text{ош}} / m. \quad (2)$$

Методика вычисления вероятности ошибочного декодирования (n,k) -комбинации $p_{\text{ош}}$ при наличии канала переспроса подробно описана в пособии [1, разд. 3.6]. Битовая вероятность ошибки на выходе декодера $p_{\text{вых}}$ определяется в соответствии с [1, (3.60); 2, пример 24].

Вероятность того, что кодовая комбинация будет передана повторно, равна вероятности того, что в этой кодовой комбинации возникнут такие ошибки, которые могут быть обнаружены, то есть

$$p_{\text{повт}} = \sum_{j=1}^{d_{\text{код}}-1} P(q), \quad (3)$$

где величина каждого слагаемого определяется по биномиальной формуле [1, (3.57)]. Требуемое относительное увеличение

скорости передачи (одновременно и в прямом, и в обратном каналах) из-за двукратной, трехкратной и т. д. повторных передач равно

$$V_{\text{п}}/V = (1 - p_{\text{повт}}) \sum_{j=0}^{d_{\text{код}}-1} (j+1)p_{\text{повт}}^j. \quad (4)$$

Расчет параметров сигнала и битовой вероятности ошибки при демодуляции принимаемого радиоимпульса в канале пере-спроса производится аналогично, при этом следует учесть следующие особенности: никакие синхросигналы в каналах пере-спроса передавать не нужно; применение многопозиционных методов манипуляции нежелательно; возможно использование любых методов уплотнения каналов и, в случае необходимости, любых методов помехоустойчивого кодирования группового сигнала в обратном канале.

Чтобы составить детальные функциональные схемы кодера и декодера корректирующего кода, следует сначала выбрать методы кодирования и декодирования. Кодировать можно с использованием производящей [1, (3.21); 2, пример 20] либо проверочной [1, (3.15)] матриц. Эти же два метода возможны и для декодирования [1, (3.23, 3.24); 1, (3.11, 3.16)]. Из двух вариантов следует выбирать метод, требующий меньших аппаратных затрат, при этом первоначальная оценка может быть сделана путем сравнения числа строк соответствующих матриц (величин k и r). Логические элементы, из которых составляются схемы, и их функции описаны в [1, с. 68; 2, пример 19]. Схему анализатора синдрома в декодере можно не приводить — достаточно описать его функции.

Для циклических кодов схемы кодера и декодера, как правило, составляют на основе производящего полинома [1, рис. 3.3–3.5], при этом на декодер возлагается задача обнаружения ошибок, но не их исправления. Если схема оказывается громоздкой, поскольку содержит большое количество практически однотипных узлов, можно привести лишь часть из них (обычно первый и последний), а для остальных в пояснительной записке привести алгоритм, описывающий способ их включения.

Для кодирования и декодирования кода с проверкой на четность достаточно иметь один счетный триггер для подсчета количества единиц (импульсов) в кодовой комбинации.

Не следует забывать, что на схемах должны быть указаны цепи для подачи тактовых импульсов разных частот, под управлением которых работают кодер и декодер.

В системе с ВРК нерационально иметь свой кодер в каждом канале, поэтому обычно применяется общее кодирующее устройство, которое включается после мультиплексора каналов и осуществляет поочередное кодирование всех канальных сигналов. В целях экономии тот же прием можно использовать и в системе с ЧРК с последующим демультиплексированием закодированных кодовых комбинаций.

Полоса частот, требуемая для передачи канального (при ЧРК) или группового (при ВРК) цифровых сигналов определяется длительностью передаваемых радиоимпульсов и выбирается в соответствии с [1, формула (2.26) и рис. 2.14]. В случае необходимости допускается небольшое (на 10–20%) уменьшение полосы частот по сравнению с приведенной выше рекомендацией.

При разработке способа сопряжения СПИ с аналоговой аппаратурой частотного уплотнения телефонных каналов для передачи групповых сигналов по одному или нескольким арендуемым стандартным трактам следует иметь в виду, что арендовать можно лишь тракт целиком, но не его часть. Например, можно арендовать канал тональной частоты с полосой пропускания 3100 Гц, первичный групповой тракт с полосой 48 кГц и т.д. (см. Приложение 3). При этом несущие частоты канальных сигналов в СПИ с ЧРК либо несущая частота группового сигнала при использовании ВРК должны быть заданы таким образом, чтобы спектр группового сигнала полностью помещался между граничными частотами арендуемого тракта, также приведенными в Приложении 3.

Нерационально арендовать тракт, полоса пропускания которого намного больше полосы частот, занимаемой групповым сигналом. В этом случае M каналов лучше разбить на несколько одинаковых независимых групп, и для каждой группы фактически использовать собственную многоканальную СПИ и арендовать групповой тракт с меньшей полосой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акулиничев Ю.П. Теория электрической связи: Учебное пособие. В 2-х частях. — Томск: ТМЦДО, 2005. — Часть 1. — 129 с; 2007. — Часть 2. — 87 с.
2. Акулиничев Ю.П. Теория электрической связи: Учебно-методическое пособие. — Томск, ТМЦДО, 2005. — Часть 1. — 57 с.
3. Теория передачи сигналов: Учебник для вузов / А.Г. Зюко и др. — М.: Связь, 1980. — 288 с.
4. Зюко А.Г., Кловский Д.Д., Коржик В.Н., Назаров М.В. Теория электрической связи / Под ред. Д.Д. Кловского. — М.: Радио и связь, 1997. — 432 с.
5. Кловский Д.Д., Шилкин В.А. Теория электрической связи. Сб. задач и упражнений: Учеб. пособие для вузов. — М.: Радио и связь, 1990. — 280 с.
6. Ключев Л.Л. Теория электрической связи. — Мн.: Дизайн ПРО, 1998. — 336 с.
7. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение: Пер. с англ. — 2-е изд. — М.: Изд. дом. «Вильямс», 2003. — 1104 с.
8. Прохис Дж. Цифровая связь: Пер. с англ. / Под ред. Д.Д. Кловского. — М.: Радио и связь, 2000. — 800 с.
9. Радиотехнические системы передачи информации: Учеб. пособие для вузов / В.А. Борисов и др; под ред. В.В. Калмыкова. — М.: Радио и связь, 1990. — 304 с.
10. Пенин П.И., Филиппов М.И. Радиотехнические системы передачи информации: Учеб. пособие для вузов. — М.: Радио и связь, 1984. — 256 с.
11. Пенин П.И. Системы передачи цифровой информации: Учеб. пособие для вузов. — М.: Сов. радио, 1976. — 368 с.
12. Левин Л.С., Плоткин В.А. Цифровые системы передачи информации. — М.: Радио и связь, 1982. — 216 с.
13. Многоканальная связь / Под. ред. И.А. Аболица. — М.: Связь, 1971.
14. Передача дискретных сообщений / Под. ред. В.П. Шувалова. — М.: Радио и связь, 1990.

15. Баева Н.Н., Бобровская И.К., Брескин В.А., Федорова Е.Л. Многоканальная электросвязь и РРЛ. — М.: Радио и связь, 1984.
16. Борисов Ю.П., Пенин П.И. Основы многоканальной передачи информации. — М.: Связь, 1967.
17. Системы связи и радиорелейные линии / Под ред. Н.И. Калашникова. — М.: Связь, 1977.
18. Крук Б.И., Попантонопуло В.Н., Шувалов В.П. Телекоммуникационные системы и сети: Учеб. пособие / Под ред. проф. В.П. Шувалова. — Н-ск: Наука, 1998.
19. Горелов Г.В., Фомин А.Ф., Волков А.А., Котов В.К. Теория передачи сигналов на железнодорожном транспорте: Учебник для вузов ж.-д. транспорта. — М.: Транспорт, 2001. — 415 с.
20. Норенков И.П., Трудоношин В.А. Телекоммуникационные технологии и сети. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. — 248 с.
21. Харкевич А.А. Борьба с помехами. — М.: Наука, 1965.
22. Хетагуров Я.А., Руднев Ю.Н. Повышение надежности цифровых устройств методами избыточного кодирования. — М.: Энергия, 1974.
23. Чернега В. С., Василенко В. А., Бондарев В. Н. Расчет и проектирование технических средств обмена и передачи информации: Учеб. пособие для вузов. — М.: Высш. шк., 1990. — 224 с.
24. Гаранин М.В., Журавлев В.И., Кунегин С.В. Системы и сети передачи информации: Учеб. пособие для вузов. — М.: Радио и связь, 2001. — 336 с.
25. Кириллов В.И. Многоканальные системы передачи: Учебник. — М.: Новое знание, 2002. — 751 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Задание на проектирование

N	M	K _c	V _c	Тип кода	Метод модул.	Метод уплотн.	P	N _o	P _{обр}
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	56	6	10	Цикл.-5	АМ	Част.	1,731E-7	6,413E-11	7,213E-8
1	8	8	25	Цикл.-5	КАМ-4	Врем.	4,347E-8	1,131E-11	3,623E-8
2	56	8	60	Цикл.-3	ЧМ	Част.	5,582E-6	1,708E-11	2,326E-6
3	12	8	90	Цикл.-3	ДФМ	Врем.	1,362E-10	3,742E-15	1,135E-10
4	92	8	890	Пр. Чет.	КАМ-64	Част.	1,238E-4	1,051E-11	5,158E-5
5	16	4	15	Цикл.-5	ФМ	Врем.	2,378E-10	5,918E-14	9,909E-11
6	96	4	160	Цикл.-3	АМ	Част.	2,678E-9	2,847E-15	1,116E-9
7	8	6	25	Цикл.-5	ЧМ	Врем.	1,634E-11	2,475E-15	6,808E-12
8	36	4	410	Цикл.-5	ФМ	Част.	5,995E-6	1,762E-11	2,498E-6
9	40	4	10	Цикл.-5	АМ	Врем.	5,507E-10	1,42E-13	2,295E-10
10	96	10	40	Пр. Четн	ЧМ	Част.	1,344E-9	1,927E-15	5,6E-10
11	56	10	10	Цикл.-5	ФМ	Врем.	1,109E-9	1,28E-13	4,621E-10
12	72	4	165	Цикл.-5	КАМ-4	Част.	5,915E-7	5,291E-12	4,929E-7
13	28	6	360	Цикл.-3	ДФМ	Врем.	6,581E-7	1,773E-12	5,484E-7
14	56	8	10	Цикл.-3	АМ	Част.	6,802E-11	1,056E-14	2,834E-11
15	40	6	280	Цикл.-5	ЧМ	Врем.	1,983E-5	4,452E-11	8,262E-6

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
16	60	8	100	Цикл.-3	КАМ-64	Част.	7,095E-8	1,113E-13	2,217E-8
17	72	10	15	Цикл.-5	ФМ	Врем.	2,163E-7	1,027E-11	9,014E-8
18	44	8	415	Пр. Четн	АМ	Част.	1,496E-7	6,003E-14	6,234E-8
19	4	8	1135	Цикл.-3	КАМ-16	Врем.	4,207E-8	9,517E-14	1,753E-8
20	64	4	50	Пр. Четн	КАМ-4	Част.	6,301E-8	6,215E-13	5,251E-8
21	60	8	155	Пр. Четн	ЧМ	Врем.	1,554E-6	1,041E-12	6,476E-7
22	24	4	105	Цикл.-3	ДФМ	Част.	6,502E-9	1,094E-13	5,419E-9
23	4	8	11380	Цикл.-3	КАМ-4	Врем.	3,666E-9	1,789E-15	3,055E-9
24	12	8	705	Пр. Четн	ДФМ	Част.	7,009E-7	1,1E-12	5,841E-7
25	88	6	10	Пр. Четн	ФМ	Врем.	1,586E-7	1,184E-11	6,609E-8
26	84	8	110	Пр. Четн	АМ	Част.	1,988E-7	1,342E-13	8,284E-8
27	72	8	30	Цикл.-3	КАМ-4	Врем.	6,536E-9	7,3E-14	5,447E-9
28	56	10	10	Цикл.-5	ЧМ	Част.	1,122E-7	5,647E-11	4,676E-8
29	16	8	340	Пр. Четн	КАМ-16	Врем.	3,914E-6	5,00E-12	1,631E-6
30	76	10	50	Цикл.-3	КАМ-16	Част.	1,046E-9	3,337E-15	4,36E-10
31	4	8	12940	Цикл.-3	КАМ-64	Врем.	1,906E-7	2,279E-14	5,958E-8
32	68	8	220	Цикл.-5	КАМ-64	Част.	8,116E-7	1,077E-12	2,536E-7
33	12	6	960	Цикл.-5	ФМ	Врем.	1,732E-9	3,025E-15	7,217E-10
34	96	6	10	Цикл.-3	АМ	Част.	6,618E-9	1,147E-12	2,758E-9
35	28	4	25	Пр. Четн	ЧМ	Врем.	5,551E-8	1,707E-12	2,313E-8
36	100	10	10	Цикл.-3	ДФМ	Част.	3,174E-10	1,876E-14	2,645E-10
37	32	4	30	Пр. Четн	КАМ-64	Врем.	1,4E-9	2,009E-14	4,376E-10

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
38	40	4	820	Цикл.-3	ДФМ	Част.	7,268E-6	9,98E-12	6,056E-6
39	24	8	140	Пр. Четн	ДФМ	Врем.	8,375E-9	3,961E-14	6,979E-9
40	28	8	15	Цикл.-3	ФМ	Част.	2,283E-8	1,448E-12	9,51E-9
41	92	6	10	Пр. Четн	АМ	Врем.	9,357E-8	2,838E-11	3,899E-8
42	92	6	395	Цикл.-3	КАМ-16	Част.	2,721E-5	9,652E-12	1,134E-5
43	12	4	25	Цикл.-5	ЧМ	Врем.	3,045E-10	5,319E-14	1,269E-10
44	20	8	240	Цикл.-3	КАМ-16	Част.	1,437E-8	3,646E-14	5,987E-9
45	80	10	10	Цикл.-3	ФМ	Врем.	2,148E-7	4,001E-11	8,951E-8
46	24	10	160	Пр. Четн	АМ	Част.	4,441E-5	7,26E-11	1,85E-5
47	4	6	2170	Цикл.-5	КАМ-64	Врем.	1,384E-6	2,909E-12	4,326E-7
48	12	4	350	Цикл.-3	КАМ-16	Част.	3,757E-6	1,935E-11	1,565E-6
49	32	10	320	Цикл.-3	КАМ-16	Врем.	7,122E-5	4,578E-11	2,968E-5

Обозначения:

1) Тип корректирующего кода: Пр. Четн — код с проверкой на четность; Цикл.-3 — циклический код с кодовым расстоянием 3 (либо код Хэмминга); Цикл.-5 — циклический код с кодовым расстоянием 5.

2) Метод модуляции: АМ, ЧМ, ФМ — амплитудная, частотная с ортогональными сигналами и фазовая соответственно; ДФМ — двукратная (четырёхпозиционная) ФМ; КАМ-16 — шестнадцатипозиционная квадратурно-амплитудная модуляция.

3) Метод уплотнения каналов: Част. — частотный; Врем. — временной.

4) $1,731E-7=1,731 \cdot 10^{-7}$.

Приложение 2

Таблица значений интеграла вероятности $\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx$

	0	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
0,6	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
0,7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
0,8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7967	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
1	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1,4	0,9192	0,9207	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441

Продолжение таблицы значений интеграла вероятности

1,6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
1,8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767
2	0,9772	0,9778	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817
2,1	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857
2,2	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890
2,3	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9911	0,9913	0,9916
2,4	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936
2,5	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952
2,6	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964
2,7	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974
2,8	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981
2,9	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986

$$1 - \Phi(z) = \Phi(-z) \approx \frac{1}{\sqrt{2\pi}z} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) \text{ при } z > 3.$$

Приложение 3

Характеристики стандартной аппаратуры частотного уплотнения каналов ТЧ с полосой 300–3400 Гц

Номер ступени	Частоты поднесущих, кГц	Полосы сигналов, кГц:	
		канальных	группового
1	64; 68; 72;...; 104; 108	60–64; 64–68; 68–72;...; 100–104; 104–108	60–108
2	420; 468; 516; 564; 612	312–360; 360–408; 408–456; 456–504; 504–552	312–552
3	1364; 1612; 1860; 2108; 2356	812–1052; 1060–1300; 1308–1548; 1556–1796; 1804–2044	812–2044
4	4152; 5448; 6744; 8040; 9336	2108–3340; 3404–4636; 4700–5932; 5996–7228; 7292–8524	2108–8524

Примечания:

1) во всех ступенях применяется амплитудная модуляция с нижней боковой полосой;

2) полосы канальных сигналов в первой ступени по 4 кГц каждая включают в себя защитные интервалы по 0,9 кГц, те же защитные интервалы остаются между пятью группами во второй ступени;

3) дополнительные защитные интервалы вводятся между канальными сигналами в третьей ступени (по 8 кГц) и в четвертой ступени (по 64 кГц).

Приложение 4

Форма титульного листа к курсовому проекту

Министерство науки и высшего образования

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования**

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ
(ТУСУР)**

Кафедра радиотехнических систем

наименование темы проекта (прописными буквами)

Пояснительная записка к курсовому проекту по курсу

Студент гр.
(подпись) и.о. фамилия
(дата)

Руководитель проекта
должность и.о. фамилия
(дата)